

刚果(金)Shandwe 铜矿床成因及找矿方向

包久荣 党伟民 杨远东 刘钧沅 洪文武 董 帅
(天津华北地质勘查总院)

摘 要 加丹加弧形铜钴成矿带是世界第三大铜矿带,带内金属矿产丰富,Shandwe 铜矿床位于该带的北西部。使用物探电法勘察技术,并结合地质填图、工程钻探等手段,对该矿床的矿体规模、矿化程度、矿石类型、围岩及蚀变、构造和地球物理特征等进行系统分析。认为该矿床的形成受地层沉积、构造运动、热液流体和风化淋滤等多重因素综合作用和影响,属于沉积-叠加改造-次生富集型层状铜钴矿床,具有很大的找矿潜力。经综合分析提出了 2 个找矿方向。

关键词 铜钴矿 地球物理特征 矿床类型 找矿方向

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6082.2023.12.004

Genesis and Prospecting Direction of Shandwe Copper Deposit in Congo(DRC)

BAO Jiurong DANG Weimin YANG Yuandong LIU Junyuan HONG Wenwu DONG Shuai
(Tianjin North China Geological Exploration Bureau)

Abstract Katanga arc copper-cobalt metallogenic belt is the third largest copper belt in the world, which is rich in metal minerals. Shandwe copper deposit is located in the northwest of the belt. Using geophysical electrical prospecting technology, combined with geological mapping, engineering drilling and other means, the ore body scale, mineralization degree, ore type, surrounding rock and alteration, tectonic and geophysical characteristics of the deposit are systematically analyzed. It is believed that the formation of the deposit is affected by multiple factors such as stratigraphic deposition, tectonic movement, hydrothermal fluid and weathering leaching. It belongs to the sedimentary-superimposed transformation-secondary enrichment layered copper-cobalt deposit and has great prospecting potential. Two prospecting directions are proposed by comprehensive analysis.

Keywords copper-cobalt ore, geophysical characteristics, deposit type, prospecting direction

铜作为我国最重要、最紧缺的矿产资源之一,是现代化工业建设的重要保障。刚果(金)一直是世界各大矿企投资的热点。Shandwe 铜矿位于刚果(金)加丹加省南部昂特加丹加县,位于加丹加西部的外部褶皱推覆构造带北西缘,邻近于大型推覆构造面附近^[1]。前人对于该地区铜钴矿的地质特征、成因机制等研究较多,但结合地质物探等的综合研究较少。本文通过梳理前人资料成果,在开展地、物、钻探等工作资料的基础上,分析了该矿床的成因,并试图分析该矿找矿潜力和下一步找矿方向。

1 区域地质背景

加丹加弧形构造带是卢菲利安(Lufilian)弧形构造带的重要组成部分^[2],Shandwe 铜矿区位于加丹加

弧形构造带北西部,带内主要发育基底与盖层,区别明显。

基底由太古代基底杂岩和元古代加丹加超群组成,太古代基底为 Muva 超群、Lufubu 超群;加丹加超群内发育罗安群(Roan)、恩古巴群(Nguba)及昆代隆古群(Kundelungu),罗安群是加丹加成矿带中最重要的含矿地层之一;盖层为第三系和第四系沉积物^[3]。加丹加地区区域内岩浆岩不发育^[4]。

2 矿区地质特征

2.1 矿区地层

矿区地层总体较简单,主要由罗安群(R)、昆代隆古群(Ku)以及第四系(Q)组成。

罗安群是一套浅海相的细碎屑岩和化学岩,岩

包久荣(1987—),男,工程师,300170 天津市河东区。

性主要有碳酸盐岩、板岩、页岩、泥岩、粉砂岩、砂岩等^[5]。在本区中可见 RAT 组(R1)、矿山组(R2)和木瓦夏组(R4),迪佩特(R3)组在本区中缺失。

RAT 组地层出露于矿区西南侧,地层厚 70~100 m,主要岩性为紫红色泥质粉砂岩、角砾岩、少量碎裂岩化泥岩等。

矿山组出露地层有 RSF、RSC、SD、BOMZ、CMN 等,该地层主要在矿区东部及采坑北东壁出露。RSF 层出露厚度 5~10 m,岩性为层状硅化白云岩,块状白云岩,少量为黑色炭质板岩等,硅化明显,矿石矿物以硅孔雀石为主,矿化不均匀,总体规模较小。RSC 层出露厚度 1~5 m,岩性主要为蜂窝状硅化白云岩,少数为细晶白云岩,局部弱铜矿化。SD 层厚度 70~90 m,岩性为以白云质页岩为主,夹少量泥质粉砂岩(局部含碳质)、黑色炭质板岩、叠层石状白云岩、白云质粉砂岩,偶见有方解石脉、石英脉等,局部弱铜矿化,以薄膜-薄层状孔雀石化为主,沿页理裂隙分布。BOMZ 层厚度 3~20 m,黑色松散土状,含角砾层,破碎带,角砾为粗晶白云岩,孔雀石,硅化孔雀石等,为本区的主要含矿层。

木瓦夏组(R4)出露于矿区北部,岩性主要为薄至中层状页岩、泥质粉砂岩、白云质页岩,局部夹白云质粉砂岩及薄层状石英砂屑岩。岩石较破碎,裂隙发育,局部硅化强烈形成石英脉及团块。

昆代隆古群为一套陆源碎屑岩建造^[6],该地层主要出露于矿区西部,在矿区南西区域广泛分布。主要为浅灰色、灰褐色、紫红色等杂色角砾岩,角砾成分主要为白云岩、页岩、粉砂岩、白云质页岩等。

第四系残坡积、冲洪积和人工堆积物,在矿区分布最广,主要为红色、土黄色、灰色黏土和砾石混合层,砾石多为石英、白云岩、砂页岩等碎块。

2.2 矿区构造

Luishia-Shandwe 复式向斜发育于加丹加弧形构造带中西部^[7],矿区位于 Shandwe 背斜南端,Shandwe 背斜的一翼,产状近直立,微向南西倾斜。

区内断裂较少,主要见于矿坑东南部,走向为北东-南西,分别为 F1 和 F2,2 组断裂近乎平行且横切地层走向,为同一期次的构造运动所形成。F1 断裂位于 11~12 线附近,为左行平移断层,长约 200 m,宽 10~40 m,断层右侧岩层发生向北西向的位移,附近岩石次级构造发育。F2 断裂位于 13~14 线附近,为正断层,产状 $168^{\circ}\angle 30^{\circ}\sim 66^{\circ}$,上盘岩性为角砾岩,下盘岩性为泥质粉砂岩和白云岩。

木瓦夏组(R4)砂页岩理十分发育,非常破碎,其为矿区铜质的富集提供了空间,局部地段充填较多孔雀石脉及团块等,沿节理等裂隙面充填,矿山组(R2)白云岩局部地段的裂隙面上也发育有孔雀石。

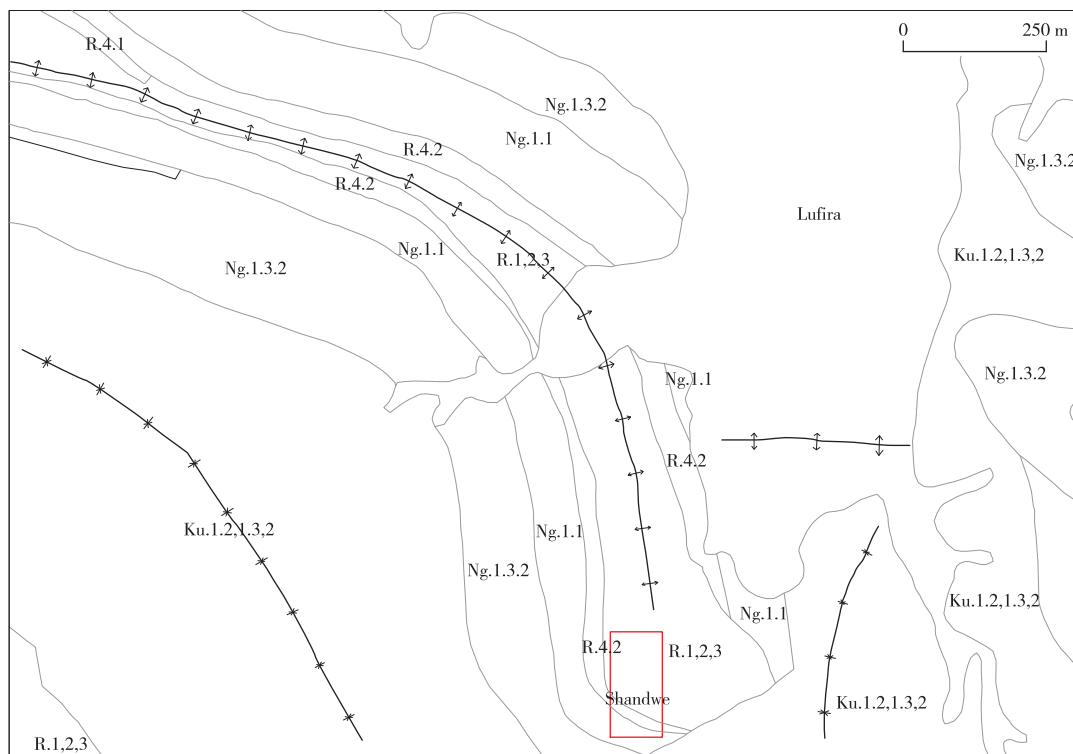


图 1 Shandwe 铜矿区一带构造纲要图

[Ku.1.2,2]—砂岩、碳酸盐化粉砂岩或页岩、灰岩、白云岩; [Ng.1.3.2]—白云质砂岩、页岩碳酸盐化粉砂岩和页岩; [Ng.1.1]—冰川混积岩(大砾岩);

[R.4.2]—白云质页岩,上部为砂岩;底部粉砂岩、页岩; [R.4.1]—白云质页岩、粉砂岩、砂岩;

[R.1,2,3]—白云岩、白云质粉砂岩;细砂岩、长石砂岩;白云质页岩、炭质粉砂岩;泥质粉砂岩、泥岩、砾岩; [X]—背斜; [Y]—向斜; []—Shandwe 矿区位置

2.3 围岩蚀变

区域构造变质作用、热液改造作用、动力变质作用等与 Shandwe 铜矿床的形成关系密切,矿区内所见主要围岩蚀变现象有硅化、白云石化、石墨化、滑石化、绢云母化、碳酸盐化、泥化等,其中白云石化、硅化、滑石化等分布最为广泛。

硅化主要发育于 RSF 和 RSC 层中,硅化一般呈浸染状、细脉状、团块状、网状等形式分布,多存在于层理、裂隙、溶蚀孔洞等位置。白云石化主要发育于 RSF、RSC、SD 等层中,白云石呈不规则脉状、半自形粒状、糖粒状等,呈密集块状、晶簇等产出。滑石化常与区域动力变质作用有关,主要分布于 BOMZ、SD 等层位中,常与绢云母化同时出现,与本区矿化关系密切。石墨化主要分布于 RSF、SD 的碳质板岩内,且部分钻孔揭露厚度较大,常伴随黄铜矿、黄铁矿等出现。碳酸盐化以方解石为主,分布较为广泛,多数层位可见,多为细脉状,小晶簇等形式出现。泥化主

要见于 BOMZ 层内,呈泥状,与黑铜矿、孔雀石等混杂,部分见于 R1 碎裂岩中。

3 矿体地质特征

3.1 矿体特征

在矿区圈出了 KT1、KT2 铜矿体和 KHT1、KHT2 铜矿化体(图 2)。KT1、KT2、KHT1 矿石自然类型为氧化矿型,KHT2 为主要为原生矿。KT1 赋存在 BOMZ 层中,为黑色的松散土状破碎角砾岩,走向 150°,倾向北东,倾角 70°~90°,断面为上宽下窄锥形,受围岩和 F1 断层共同控制,局部地段含 Co。上部围岩为白云岩和白云质页岩;下部围岩为 SD 层,岩性为泥质粉砂岩和白云质粉砂岩。KT2 赋存于 R.2(RSF)层状硅化白云岩中,矿体走向 130°,南西端往东转折,近直立,微向南西倾斜。其南西侧为 RAT 角砾岩层;北东侧为 SD 白云质粉砂岩。KHT1、KHT2 铜矿体主要为黄铜矿,赋矿岩性为白云岩、白云质粉砂岩等。

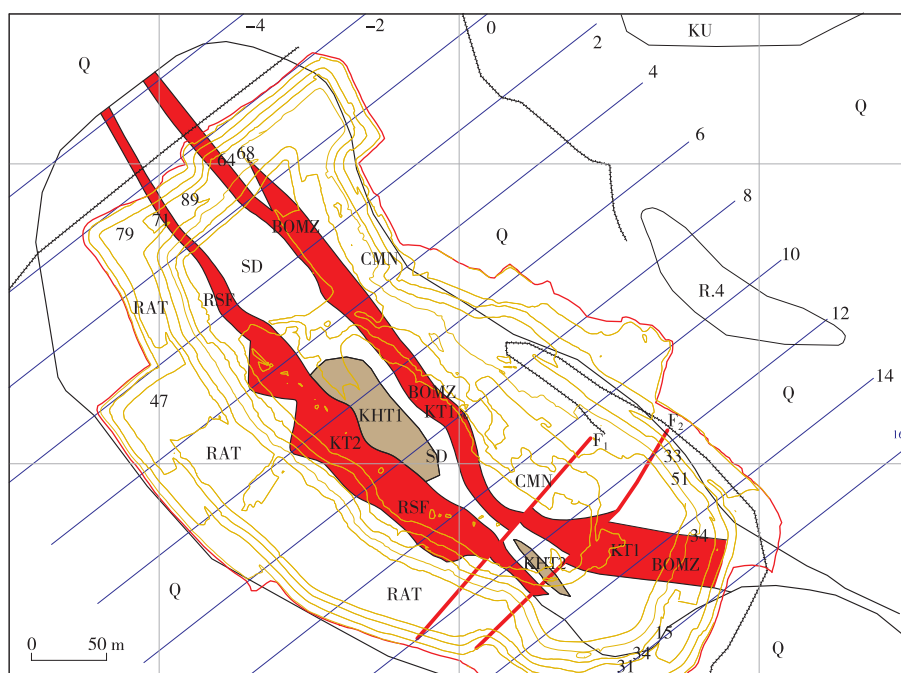


图 2 地形地质图

Q—第四系冲洪积物; KU—砂岩、碳酸盐粉砂岩或页岩、灰岩、白云岩等; R.4—硅质岩, 硅质白云岩;
CMN—白云质页岩, 叠层石状白云岩、少量碳质板岩等; BOMZ—黑色含角砾铜矿层底部粉砂岩、页岩等;
SD—黑色炭质板岩、白云质粉砂岩; RSF—层状硅化白云岩; RAT—泥质粉砂岩, 碎裂岩化泥岩; 矿体; 矿化体

3.2 矿石类型

矿物结构以自形-他形粒状结构、隐晶结构、包含结构为主,交代溶蚀结构,少量交代假象结构、纤维状结构、粒状结构、隐晶纤维状结构等。矿石以多孔构造、角砾状、浸染状、薄膜状、块状构造为主,其次为条带状、细脉状、角砾状,少量为皮壳状、鲕状构造,少量呈蜂窝状,部分保留原岩层理构造或残余构造。

矿石中铜、钴矿物主要有 10 种,其他金属矿物主要有 4 种,其中氧化矿物 7 种,原生矿物 5 种,脉石矿物主要有 7 种。铜钴矿物有孔雀石、硅孔雀石、黄铜矿、辉铜矿、蓝铜矿、黑铜矿、水钴矿、钴华、铜蓝、斑铜矿等。其他金属矿物主要为黄铁矿、褐铁矿、赤铁矿、针铁矿等。氧化矿物主要为孔雀石、硅孔雀石、钴华、水钴矿、褐铁矿、赤铁矿、针铁矿等。原生矿(硫化矿)物主要为黄铜矿、辉铜矿、黄铁矿、斑铜矿、

铜蓝等。脉石矿物主要有石英、白云石、方解石、绢云母、白云母及黏土等。

4 地球物理特征

大功率直流激电法对寻找和圈定该区多金属矿(化)体是最直接有效的办法^[8]。通过项目组共同努力,发明了新型供电电极,总结出了一套高效野外物探工作的方法,突破了该地区传导电法工作困难的技术瓶颈^[9]。

通过激电测量,发现并圈定中阻异常带和低阻异常带各 1 条(图 3)。3 条异常带紧邻分布,异常带长约 200 m,中阻带宽 25~50 m,低阻带宽约 30 m;走向展布近东西,中阻异常位于低阻异常带北侧,二者略有错位。位于南侧的低阻异常带起始位置更靠近西侧 KT1 号矿体,其展布方向与 KT1 延伸方向近乎一致。且低阻极化率异常带靠近西端见明显低阻异常区,内部小异常呈串珠状分布。低阻异常区东部南北两侧,各见一高阻异常区,呈两高夹一低形态分布。

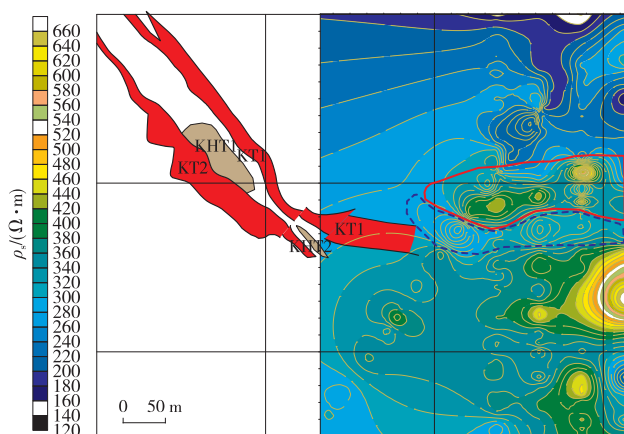


图 3 电法中梯剖面等值线平面图

—中值异常; —低值异常

5 矿床成因

Shandwe 铜矿区中品质最好的矿石是产于罗安群 R2 矿山组的 BOMZ 层黑色松散的破碎带中。研究钻孔和采坑样品分析结果发现,品位高的样品($\text{Cu} > 4\%$)多分布于断层 F1、F2 附近。从纵向看,地表含孔雀石、硅孔雀石、辉铜矿等氧化物矿石,品位高于深部原生硫化物矿石。矿体整体形态受层位、岩性控制,矿化强弱与断层、褶皱、层理、节理等构造关系密切。结合该地区及周边矿山地质特征,认为 Shandwe 铜矿床形成 3 个阶段。

第一阶段为中、新元古代时期,于潮坪环境下沉积,以碳酸盐岩、碎屑岩和泥质岩建造的罗安群(R),恩古巴群(Ng)和昆代隆古群(Ku)等高铜背景值地层,岩性主要为白云岩、粉砂岩、砂岩、泥岩等,其中罗安群中富含铁、镁、铜、钴等元素,为原始矿源层。

第二阶段为晚元古末期,卢菲利造山运动期间,刚果(金)地区初始沉积地层发生大规模韧性剪切、变形、逆冲推覆和滑动,形成包括 Luishia-Shandwe 复式向斜一系列褶皱等大型构造。在本矿区主要表现为,地层在 Shandwe 背斜中南西翼近直立,另一翼倾向北东。底部岩性为 SD 白云质页岩,层状白云岩等,渗透性差。地表的降水和构造热液,将上部 RSF、RSC、BOMZ 等地层部分溶蚀,形成蜂窝状孔洞、裂隙(如 F1、F2)等,提高了地层的连通性,同时部分地层也发生硅化、强烈滑石化等现象。大规模构造活动过程中产生的热液沿韧性剪切带、破碎带、逆冲推覆褶皱带、孔洞和裂隙等构造薄弱部位运移,并萃取周边地层中铜钴等有益元素,化学性质较为活泼的 Ca、Mg 等造岩元素经淋滤作用大部分迁移、流失,活动性较弱的 SiO_2 、Fe、Al 等则成胶体溶液沉淀,Cu、Co 等矿质成细粒质点被胶体溶液吸附、沉淀,在裂隙、节理、孔洞、褶皱转折虚脱等部位,形成铜钴多金属硫化物。这是铜的再次富集,也是成矿最重要的阶段。

第三阶段在随后漫长的地质风化过程中,当地充沛的降雨量、断层及其破碎带良好的透水性,经物理和化学风化作用,周边地层中的铜质进一步发生迁移,大量薄膜状、脉状、团块状孔雀石在 BOMZ、SD 节理裂隙中富集,进一步提高了铜钴的品位,完成了氧化淋滤次生富集阶段。

6 找矿标志和方向

Shandwe 铜矿床地处著名的加丹加铜钴成矿带中南部,附近又发育有 Luishia 等大型优质铜矿床,成矿条件良好。

结合实际工作发现本矿区找矿标志主要有以下 3 类。①矿物标志:孔雀石和钴华是本区最直接、最主要的找矿标志,地表有上述二者出现的地方很可能就是矿体发育地段。②地层标志:在本区矿山组上下层位追索具黑色松散堆积物发育的 BOMZ 层,是寻找高品位铜钴矿体的重要标志。③构造标志:靠近断裂带及节理等构造发育部位附近,如 F1 和 F2 断层附近,或层间破碎发育,如 KT1 北西段, BOMZ 与 CMN 之间,层间破碎带内富集有孔雀石;部分节理发育部位矿化现象也明显,如 SD 白云质页岩。④蚀变标志:滑石化是重要热液活动产物,矿区中滑石化强烈部位,多铜钴品位较高。⑤民采标志:当地民采挖掘的浅井,采坑遗迹等。

从矿区构造方面看, Luishia-Shandwe 复式向斜在 Shandwe 矿区内向东发生扭转,并且发育有较多大小规模褶皱、断裂、裂隙和节理等。结合地表和采坑

内所见,从地层方面看,加丹加超群罗安群矿山组(R2)地层在本矿区内发育完整,此二者都是重要的有利成矿信息。

综合分析提出2个找矿方向。

(1)通过区内地球物理激电中梯剖面测量和激电测深工作发现,矿区采坑东南方向100 m附近开始,见发育2条位置相邻且走向近东西的中、低阻异常带,延伸约200 m,宽20~50 m。且在此2条异常带东部,低阻异常两侧分别各分布有1处高阻异常区,二者相距约150 m,具有两高夹一低的特征。并且异常带的展布方向,与上述采坑内所见矿体KT1转折延伸方向近乎一致,找矿潜力大。

(2)矿区位于Luishia-Shandwe复式向斜中Shandwe背斜的一翼,罗安群矿山组(R2)从RSF-CMN地层发育完全,且产状较为稳定,结合该地区矿床,具有地层和构造共同控矿的特点,运用适当地质手段,在采坑南西侧,寻找Shandwe背斜另一翼的矿山组地层,分析其含矿性,具有较好的找矿前景。

7 结 论

(1)Shandwe铜矿床位于Shandwe背斜的一翼,主要含矿层产于罗安群矿山组(R2)中,矿床受地层和构造共同控制。

(2)主要赋矿地层为BOMZ、SD层内及其接触面附近,岩性为构造角砾岩和白云质页岩等,呈松散土状、结核状、网脉状、薄层状等,矿物以黑铜矿、孔雀石、硅孔雀石、水钴矿等氧化矿为主,黄铜矿,辉铜

矿,斑铜矿等原生矿物较少。

(3)该矿床主要经历了3个成矿阶段,即初始富铜钴矿源层沉积期,造山运动热液交换改造期和地表淋滤氧化期等,成因类型属于沉积-叠加改造-次生富集型层状铜矿床。

参 考 文 献

- [1] 李向前,毛景文,闫艳玲,等.中非刚果(金)加丹加铜矿带主要矿化类型及特征[J].矿床地质,2009,28(3):366-380.
- [2] ELDESOUKY H A, MUCHEZ P, TYLER R. The sandstone-hosted stratiform copper mineralization at Mwitapile and its relation to the mineralization at Lufukwe, Lufilian foreland, Democratic Republic of Congo[J]. Ore Geology Reviews, 2008,34(4): 561-579.
- [3] 朱海宾,肖波,刘国平.中南部非洲卢富里安铜-钴矿带地层对比研究[J].矿产与地质,2019,33(3):385-392.
- [4] 李向前,姜玉平,赵锡岩,等.刚果(金)堪莎祁铜钴矿床地质特征及成因分析[J].地质与勘探,2010,46(1):175-182.
- [5] 李刚,郭忠正,李江博,等.刚果(金)某铜钴矿地质特征及矿床成因[J].世界有色金属,2020(4):101-102.
- [6] 辛建伟,王纪昆,陈志国,等.刚果(金)绿纱铜钴矿床地质特征浅析[M].非洲地质经济·纪念天津华北地质勘查局“走出去”10周年论文集.北京:地质出版社,2009:71-86.
- [7] 宋小军,李向前,秦正永,等.刚果(金)加丹加群铜钴矿带控矿地质特征[M].非洲地质经济·纪念天津华北地质勘查局“走出去”10周年论文集.北京:地质出版社,2009:61-70.
- [8] 赵春光,邓晶,姜心蕊,等.直流激电法简化模型的建立与分析[J].中州煤炭,2012(11):32-35.
- [9] 刘钧沅,党伟民,赵振华,等.综合物探方法在中非加丹加铜钴矿带上的勘查效果分析[J].矿产勘查,2023(7):1096-1105.

(收稿日期 2023-06-15)

(上接第23页)

段斑岩型Cu、Mo矿床成矿时代及其地球动力学意义[J].科学通报,2007(20):2407-2417.

- [11] 武广,王国瑞,刘军,等.大兴安岭北部主要金属矿床成矿系列和区域矿床成矿谱系[J].矿床地质,2013,33(6):1127-1150.
- [12] 马万里.黑龙江省黑河市五道沟地区Au-Mo矿化特征及成因研究[D].长春:吉林大学,2020.
- [13] 宋长春,张宝林,淳于树菊,等.黑龙江省黑河五道沟-小黑山地区金矿找矿远景分析[J].黄金科学技术,1995(1):14-19.
- [14] 陈乐柱,肖惠良,鲍晓明,等.广东始兴良源铜钼铌钽锡多金属矿区勘查地球化学特征及找矿方向[J].矿物岩石地球化学通报,2014,33(4):466-471.
- [15] 孟宪国,赵鹏大.地质数据的分形结构[J].地球科学,1991(2):207-212.
- [16] 徐明钻,朱立新,马生明,等.多重分形模型在区域地球化学异常分析中的应用探讨[J].地球学报,2010,31(4):611-618.
- [17] 成秋明.多维分形理论和地球化学元素分布规律[J].地球科

学,2000(3):311-318.

- [18] 戴慧敏,宫传东,鲍庆中,等.区域化探数据处理中几种异常下限确定方法的对比-以内蒙古查巴奇地区水系沉积物为例[J].物探与化探,2010,34(6):782-786.
- [19] 蒙勇,文件生,吕宇明,等.广西贵港银山岭铅锌矿土壤地球化学找矿研究[J].现代地质,2011,25(5):1013-1020.
- [20] 王苗苗.广西六林多金属矿化探数据处理分析及成矿预测[D].北京:中国地质大学(北京),2012.
- [21] 赵欣怡,罗先熔,杨笑笑,等.河南洛宁石龙山金多金属矿预查区土壤地球化学特征及找矿远景分析[J].矿物岩石地球化学通报,2020,39(4):768-778.
- [22] 杨笑笑,罗先熔,文美兰,等.地电化学法在豫西崤山黄土覆盖区找矿中的应用:以洛宁县石龙山预查区为例[J].物探与化探,2019,43(2):244-256.
- [23] 牟保磊.元素地球化学[M].北京:北京大学出版社,1999.

(收稿日期 2023-02-22)